

**Шинкуба В.А.**

**Студент**

**Донской государственный технический университет  
РФ, г. Ростов-на-Дону  
Кротова О.Е.**

**Профессор кафедры «Техника и технологии пищевых производств»**

**Донской государственный технический университет  
РФ, г. Ростов-на-Дону**

## **БИОКОНВЕРСИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ: ФЕРМЕНТАЦИЯ В ВИНОДЕЛИИ – ПРОЦЕСС, ФАКТОРЫ И ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВЕ ВИНЕ**

Аннотация. Данная статья посвящена комплексному анализу процесса ферментации как ключевой стадии биоконверсии растительного сырья (виноградного сусла) в вино. В работе рассмотрены биохимические и микробиологические основы двух основных типов брожения – спиртового и малолактического. Подробно разобраны последовательные технологические этапы ферментации, их специфика для различных типов виноматериалов. Особое внимание уделено факторам, влияющим на эффективность биоконверсии и качество конечного продукта: характеристикам сырья (винограда), выбору и управлению микроорганизмами, параметрам процесса (температура, рН, аэрация), а также применяемому технологическому оборудованию. Проведен анализ влияния каждого этапа и фактора на формирование органолептического профиля вина – его ароматики, вкуса, текстуры и стабильности. Статья также затрагивает современные тенденции

управления ферментацией и потенциальные дефекты, возникающие при нарушении процесса.

Ключевые слова. Биоконверсия, виноделие, ферментация, спиртовое брожение, малолактическое брожение, *Saccharomyces cerevisiae*, *Oenococcus oeni*, качество вина, органолептика, технологические факторы, управление брожением, вторичные метаболиты.

**Shinkuba V.A.**  
**Student**

**Don State Technical University**

**Russia, Rostov-on-Don**

**Krotova O.E.**  
**Professor, Department of "Techniques and Technologies of Food Production"**  
**Don State Technical University**

**Russia, Rostov-on-Don**

## **BIOCONVERSION OF PLANT RAW MATERIALS: FERMENTATION IN WINEMAKING – PROCESS, FACTORS, AND IMPACT ON WINE QUALITY**

**Abstract.** This article provides a comprehensive analysis of the fermentation process as a key stage in the bioconversion of plant raw materials (grape must) into wine. The work examines the biochemical and microbiological foundations of the two main types of fermentation – alcoholic and malolactic. The sequential technological stages of fermentation, and their specifics for different types of wine materials, are discussed in detail. Special attention is paid to the factors influencing the efficiency of bioconversion and the quality of the final product: characteristics of the raw material (grapes), selection and management of microorganisms,

process parameters (temperature, pH, aeration), as well as the technological equipment used. An analysis of the impact of each stage and factor on the formation of the wine's organoleptic profile – its aromatic, taste, texture, and stability – is conducted. The article also touches upon modern trends in fermentation management and potential defects arising from process disturbances.

**Keywords.** Bioconversion, winemaking, fermentation, alcoholic fermentation, malolactic fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, *Oenococcus oeni*, wine quality, organoleptic properties, technological factors, fermentation management, secondary metabolites.

Виноделие является одним из древнейших и наиболее совершенных примеров биоконверсии растительного сырья, где под действием микроорганизмов сложный химический состав виноградной ягоды трансформируется в уникальный и стабильный продукт – вино. В основе этой трансформации лежит процесс ферментации (брожения) – совокупность биохимических реакций, катализируемых ферментами дрожжей и бактерий, направленных на получение энергии из органических субстратов в анаэробных или микроаэрофильных условиях.

Ферментация в виноделии – это не единовременный акт, а многоэтапная, управляемая последовательность биоконверсий, каждая из которых вносит решающий вклад в конечное качество продукта. Понимание этих этапов, механизмов действия микроорганизмов и факторов, влияющих на процесс, является основой для современного технологического контроля и создания вин с заданными характеристиками.

Цель данной статьи – провести всесторонний анализ процесса ферментации в виноделии, рассмотрев его этапы, ключевые факторы эффективности и их непосредственное влияние на сенсорные и физико-химические показатели качества вина.

## 1. Биохимические основы ферментации виноградного сусла

### 1.1. Спиртовая (алкогольная) ферментация

Основная биоконверсия, осуществляемая дрожжами, преимущественно видами рода *Saccharomyces cerevisiae*. Этот облигатный процесс протекает по гликолитическому пути (Эмбдена-Мейергофа-Парнаса) в условиях строгой анаэробии. Ключевым субстратом являются гексозы (глюкоза и фруктоза).

Основное уравнение:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2 + 2 \text{ АТФ}$  (энергия).

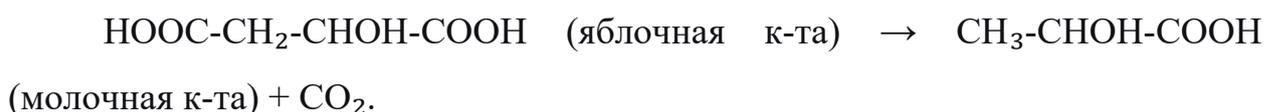
Однако спирт – лишь основной, но не единственный продукт. Дрожжевой метаболизм генерирует широкий спектр вторичных метаболитов, определяющих органолептику:

- Высшие спирты (сивушные масла: изоамиловый, изобутиловый, пропиловый спирты) – формируют «алкогольный» фон, в низких концентрациях добавляют сложность.
- Сложные эфиры (этилацетат, этиллактат, ацетаты высших спиртов) – главные носители фруктовых и цветочных ароматов.
- Карбонильные соединения (ацетальдегид, диацетил) – влияют на окислительно-восстановительный статус и аромат.
- Глицерин – придает вину полноту тела, мягкость и ощущение сладости.
- Летучие кислоты (уксусная, пропионовая) – в следовых количествах добавляют сложность, в избытке – порок.
- Серосодержащие соединения – могут быть как желательными ароматическими предшественниками (тиолы, дающие ароматы цитруса, тропических фруктов), так и пороками (сероводород  $H_2S$ , меркаптаны).

### 1.2. Малолактическая ферментация (МЛФ)

Вторичная биоконверсия, осуществляемая молочнокислыми бактериями (МКБ), главным образом *Oenococcus oeni*. Это биологическое декарбоксилирование двухосновной L-яблочной кислоты в одноосновную L-молочную кислоту.

Основное уравнение:



Последствия МЛФ для качества:

1. Снижение общей титруемой кислотности на 1-4 г/л и повышение рН на 0.1-0.3 единицы. Это смягчает вкус, что критично для вин из прохладных регионов.
2. Изменение микробиологической стабильности: удаление легкодоступного для конкурентной микрофлоры субстрата (яблочной кислоты).
3. Формирование новых ароматических тонов за счет метаболитов бактерий: диацетил (масляные, ореховые ноты), ацетоин, летучие эфиры.

## **2. Влияние параметров процесса ферментации на качество вина: интегрированный анализ**

Качество вина напрямую зависит от контроля параметров ферментации:

- 1) Температура: Является критическим фактором.
- 2) Низкие температуры (12-18°C) для белых и розовых вин способствуют сохранению летучих ароматов (фруктовых, цветочных), производству эфиров и медленному, управляемому брожению.

3) Высокие температуры (25-30°C) для красных вин способствуют более эффективной экстракции цветковых пигментов (антоцианов) и танинов из кожицы, а также формированию более сложных и терпких ароматов. Слишком высокие температуры (>32°C) могут привести к остановке брожения и появлению неприятных "пригорелых" тонов.

4) Кислородный режим: Контролируемое ограниченное поступление кислорода (микросодержание) на ранних стадиях способствует здоровому размножению дрожжей и синтезу стеролов, укрепляющих их клеточные мембраны. Избыток кислорода на основной стадии приводит к окислению вина, потере свежести и появлению тонов уксуса (уксусный альдегид) или хереса.

5) Состав питательной среды (муста):

Концентрация и тип сахаров определяют не только конечную крепость, но и кинетику брожения.

Азотистые соединения (аммоний, аминокислоты) – ключевые питательные вещества для дрожжей. Их дефицит вызывает медленное или "затяжное" брожение, выделение неприятных серосодержащих соединений (сероводород H<sub>2</sub>S, меркаптаны).

Кислотность (pH) влияет на микробиологическую стабильность, активность ферментов и цвет вина. Низкий pH (высокая кислотность) благоприятен для дрожжей и стабильности цвета, но затрудняет МЛФ.

б) Выбор микроорганизмов:

Культурные (селекционные) дрожжи обеспечивают предсказуемое и чистое брожение, позволяют подчеркнуть определенные стилевые черты вина.

Дикие (аборигенные) дрожжи (родов *Hanseniaspora*, *Candida*, *Pichia* и др.), присутствующие на винограде и в погребе, могут придать вину уникальную территориальную сложность и "характер", но несут риски

нестабильности и пороков (летучие кислоты, этилфенолы). Современная практика часто использует комбинацию подходов.

Каждый параметр ферментации напрямую проецируется на сенсорные характеристики вина.

<b>Фактор/Этап ферментации</b>	<b>Влияние на Ароматику</b>	<b>Влияние на Вкус и Текстуру</b>	<b>Влияние на Стабильность</b>
<b>Температура (низкая, белые)</b>	Усиление фруктовых, цветочных эфиров, сохранение терпенов.	Более легкое тело, высокая кажущаяся свежесть.	Меньшая экстракция полифенолов-антиоксидантов.
<b>Температура (высокая, красные)</b>	Формирование вареньеобразных, спелых тонов, уменьшение свежей фруктовости.	Большая полнота тела, более высокая экстракция и полимеризация танинов (смягчение).	Лучшая экстракция стабилизирующих полифенолов. Риск улетучивания ароматов.
<b>Штамм дрожжей</b>	Определяющий фактор для спектра эфиров, высших спиртов, выделения тиолов.	Влияет на содержание глицерина (тело), может влиять на кислотный профиль.	Надежность завершения брожения, устойчивость к стрессу.
<b>Проведение МЛФ</b>	Появление масляных, ореховых, йогуртовых нот (диацетил), снижение яблочной кислотности.	Смягчение вкуса за счет снижения кислотности, появление сливочной текстуры.	Повышение микробиологической стабильности за счет удаления яблочной кислоты.
<b>Выдержка sur lie</b>	Развитие «булочных», дрожжевых, ореховых тонов автолиза.	Увеличение объема и жирности текстуры (маннопротеины), смягчение.	Стабилизация против кристаллического помутнения, связывание летучих соединений.
<b>Дефицит питания (азот)</b>	Появление редутивных пороков: сероводород (тухлые яйца)	Ощущение горечи, неприятное послевкусие.	Риск затяжного или остановленного брожения, нестабильность.

### 3. Управление ферментацией как инструмент винодела

Современное виноделие – это высокоточное управление биоконверсией.

- Терморегуляция в стальных танках или бетонных яйцах позволяет точно контролировать профиль экстракции и ароматики.

- Выбор емкости (нержавеющая сталь, дубовые бочки, бетон, керамика) влияет на степень оксигенации и теплопроводность, а также привносит дополнительные вкусо-ароматические компоненты (например, танины и ванилин из дуба).

- Техники мацерации (длительность контакта сула с мезгой) и пижажа (перемешивание) регулируют экстракцию танинов, полифенолов и ароматических предшественников.

- Питание дрожжей и мониторинг ключевых показателей (содержание сахара, температура, титруемая кислотность) позволяют предотвратить остановки брожения и пороки.

### 4. Потенциальные дефекты, связанные с ферментацией

Нарушения в процессе биоконверсии могут привести к серьезным порокам:

- Летучие кислоты (в основном уксусная кислота) – результат деятельности уксуснокислых бактерий или некоторых дрожжей при доступе кислорода.
- Сероводород ( $H_2S$ ) и меркаптаны ("запах тухлых яиц", "резины") – следствие дефицита азота или действия некоторых штаммов дрожжей.
- Высокое содержание этилацетата (растворитель, клей) – маркер микробиологической порчи.
- Биогенные амины (гистамин, тирамин) – могут образовываться бактериями во время МЛФ при недостаточной гигиене.

## 5. Современные тенденции и проблемы управления ферментацией

- Точное виноделие: Использование сенсоров для онлайн-мониторинга плотности, температуры, pH.
- Экология и аутентичность: Растущий интерес к спонтанной ферментации аборигенной микрофлорой для выражения терруара, использование «местных» селекционных дрожжей.
- Управление редуктивным потенциалом: Контроль над образованием и удалением летучих сернистых соединений.
- Биопротекция: Использование не-*Saccharomyces* дрожжей (например, *Lachancea thermotolerans* для биоподкисления, *Torulasporea delbrueckii* для усиления ароматики) или бактерий в качестве антагонистов для снижения доз SO<sub>2</sub>.
- Проблема изменения климата: Работа с виноградом с высоким содержанием сахара (потенциально высокий алкоголь) и низкой кислотностью требует адаптации протоколов ферментации.

### Заключение

Ферментация в виноделии представляет собой исключительно сложную и многокомпонентную систему биоконверсии растительного сырья, где биохимические превращения, управляемые сообществами микроорганизмов, напрямую диктуют качество конечного продукта. От подготовки сусле до завершения малолактического брожения каждый этап вносит свой вклад в формирование химического и сенсорного профиля вина.

Эффективность процесса и достижение целевых качественных показателей зависят от синергии множества факторов: исходного сырья, выбранных микробиологических агентов, жестко контролируемых технологических параметров (температура, pH, питание) и мастерства

винодела, выступающего в роли «дирижера» этой биологической симфонии. Современная наука и технология, углубляя понимание молекулярных основ ферментации, предоставляют инструменты для беспрецедентно точного управления этим древним процессом, позволяя создавать вина, максимально раскрывающие потенциал винограда и отвечающие как требованиям стабильности, так и потребительским ожиданиям в отношении сложности и уникальности. Дальнейшие исследования в области метагеномики микробиоты брожения и метаболомики вина открывают новые пути для оптимизации этой ключевой биоконверсии.

#### **Использованные источники:**

1. Василевская С.П., Ханин В.П. Техника и технология переработки неоднородных систем: учебное пособие / С.П. Василевская, В.П. Ханин. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. — [б. с.].
2. Смирнова Е. С., Ражина Е. В. Характеристика микроорганизмов бродильных процессов // Уральский государственный аграрный университет. — Екатеринбург, 2022. — [б. с.].
3. Международная ассоциация винодельческой промышленности (OIV). Руководства и отчёты по энергоэффективности в винодельческой отрасли. URL: <https://www.oiv.int>
4. Европейский союз: Программа по устойчивому развитию винодельческих регионов. Отчёты о внедрении энергосберегающих технологий в винодельческой индустрии Европы. URL: <https://ec.europa.eu>